

**PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP UMUR TRANSFORMATOR TENAGA DI  
GARDU INDUK PALUR 150 kV**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I**

**Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**OLEH :**

**DIMAS ALDI YANUAR ANDIKA**

**D400140092**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**JUNI, 2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP UMUR TRANSFORMATOR TENAGA DI  
GARDU INDUK PALUR 150 kV**

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh :

**DIMAS ALDI YANUAR ANDIKA**

**D400140092**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Agus Supardi, S.T, M.T

NIK : 883

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP UMUR TRANSFORMATOR  
TENAGA DI GARDU INDUK PALUR 150 kV**

**OLEH**

**DIMAS ALDI YANUAR ANDIKA**

**A 401 400 092**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Selasa, 5 juni 2018  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Dewan Penguji:**

1. Agus Supardi, S.T, M.T.  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Jatmiko, M.T.  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Umar, S.T, M.T.  
(Anggota II Dewan Penguji)

  
(.....)

  
(.....)

  
(.....)

**Dekan,**

  
  
**Dr. Sri Sunarjono, MT., PhD.**  
NIK. 682

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 5 juni 2018

Penulis



**DIMAS ALDI YANUAR ANDIKA**

**D 400 140 092**

# **PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP UMUR TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK PALUR 150 kV**

## **Abstrak**

Transformator adalah suatu komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik, karena digunakan sebagai penyesuai tegangan untuk beban yang dilayani. Oleh sebab itu transformator harus tetap dijaga kualitasnya supaya dapat berumur panjang. Banyak hal yang mempengaruhi berkurangnya umur transformator, seperti suhu pada transformator dan suhu disekitaran transformator. Penelitian ini bertujuan untuk mencari perkiraan angka harapan hidup transformator dengan menghitung suhu transformator dan suhu lingkungan, dengan berbagai percobaan variasi pembebanan. Data akan dianalisis dengan berbagai perbandingan yaitu, menggunakan percobaan pembebanan yang dibuat bervariasi, perbandingan pada suhu sekitar dan perbandingan pada waktu siang dan malam hari. Dalam menganalisis penulis memakai pedoman berdasarkan standard IEEE dan IEC. Berdasarkan hasil pengamatan, suhu di negara beriklim tropis seperti Indonesia mempunyai rata-rata suhu sekitar 33 celcius ketika siang dan 24 celcius ketika malam. Berbeda dengan standard IEC yaitu 20 celcius yang ditetapkan sebagai suhu sekitar terbaik agar transformator tenaga dapat berumur panjang. Berdasarkan penelitian, perkiraan berkurangnya umur transformator untuk suhu sekitar di Indonesia mencapai 70 sampai 85% untuk siang hari dan 40 – 55% untuk malam hari, dibanding dengan suhu standard IEC. Sedangkan, jika dibandingkan dengan standard IEEE, yaitu 30 celcius mengakibatkan perkiraan berkurangnya umur transformator sekitar 40 sampai 55% untuk siang hari dan bertambah 45 sampai 55 % untuk malam hari. Pembebanan yang paling baik maksimal sebesar 70% karena dengan suhu di Indonesia yang panas maka pembebanan pula harus disesuaikan, agar transformator tetap berumur panjang. Pembebanan paling buruk terjadi pada beban puncak yaitu 100% dengan rata-rata perkiraan umur yang relatif rendah. Dengan adanya kenaikan terhadap faktor beban dan suhu lingkungan menyebabkan laju penuaan transformator bertambah dan umur transformator berkurang seiring transformator bekerja.

**Kata kunci :** umur, pembebanan, suhu lingkungan, transformator tenaga.

## **Abstract**

Transformer is a very important component in electric power system, because it is used as a voltage adjustment for loads served. Therefore, the transformer must be maintained for quality to live longer. Many things affect the reduced life of the transformer, such as the temperature at the transformer and the ambient temperature of transformer. This study aims to find the estimated life expectancy of the transformer by calculating the temperature of the transformer and the ambient temperature of transformer, with various experimental loading variations. The data will be analyzed by various comparisons, using varying load experiments, comparison at ambient temperature and comparison during day and night time. In analyzing the author using guidelines based on IEEE and IEC standards. Based on observations of temperatures in tropical climates such as Indonesia, it has an average ambient temperature of about 33 celcius during the day and 24 Celcius when night. In contrast to the IEC standard of 20 celcius which is designated as the best surrounding temperature for power transformers to be long-lived. Based on the research, estimate the decrease of transformer age to ambient temperature in Indonesia reaches 70 until

85% for daytime and 40 until 55% for night, compared to IEC standard temperature. Meanwhile, when compared with the IEEE standard, the 30 celcius resulted estimate the decrease of transformer age around 40 - 55% for the day and increased by 45 until 55% for the night. The best loading maximum of 70% because with the temperature in Indonesia is hot then the loading must also be adjusted, so that the transformer remains long-lived. The worst loading occurs at the peak load of 100% with a relatively low average life expectancy. Given the increase in load factor and ambient temperature, resulted the rate of aging of the transformer increases and the life of the transformer decreases as the transformer operates.

**Keyword** : age, loading, ambient temperature, power transformer.

## 1. PENDAHULUAN

Listrik adalah suatu energi yang sangat diperlukan oleh semua manusia pada zaman sekarang. Indonesia adalah salah satu negara berkembang yang sangat memerlukan energi listrik tersebut. Sebagai negara berkembang Indonesia dituntut untuk selalu mensuplai energi listrik setiap hari agar terpenuhi kebutuhan listriknya. Energi listrik banyak digunakan dalam kegiatan industri dan kegiatan rumah tangga.

Salah satu komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari suatu pembangkit sampai kepada kelompok-kelompok beban yang dilayani adalah transformator (Wuwung, 2010). Transformator berfungsi sebagai penyesuai tegangan beban, baik harus diturunkan atau dinaikkannya tegangan tersebut.

ANSI/IEEE mendefinisikan transformator tenaga adalah sebuah perangkat listrik statis, tanpa melibatkan bagian yang terus bergerak, digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk menyalurkan tenaga listrik antar komponen melalui penggunaan induksi magnetik. Menurut IEC definisi dari transformator tenaga adalah sebuah peralatan listrik statis dengan dua atau lebih belitan yang terinduksi elektromagnetik, mengubah sistem tegangan dan arus bolak-balik ke sistem lain dengan tegangan dan arus yang berbeda-beda nilainya dengan frekuensi sama bertujuan untuk menyalurkan daya listrik (Harlow, 2011) .

Transformator merupakan peralatan yang sangat penting sehingga diusahakan agar peralatan ini dapat memiliki umur yang relatif panjang. Banyak faktor yang menyebabkan umur transformator berkurang seperti, masalah pada frekuensi dan sering terjadinya hubung singkat, yang dapat mempersingkat umur transformator atau menyebabkan kegagalan isolasi pada transformator (Gray, 2003). Banyak transformator membawa beban yang bervariasi dalam pengoperasian normal. Setelah satu siklus pengoperasian atau lebih, suhu minyak dan belitan

akan mengikuti suatu pola yang berulang. Selama siklus tersebut bekerja, beban puncak dapat melebihi nilai yang tertulis dalam pelat nama, namun tidak melebihi kenaikan suhu lilitan yang ditentukan. Pada tahun 1962, standar Perancis NFC 52-100, bahwa kenaikan suhu maksimum dari *hotspot* berada didalam kondisi *steady state* pada arus pengenal. Selain itu dalam panduan IEC yang diterbitkan pada tahun 1968, membatasi suhu *hotspot* dalam keadaan *overload*, pada suhu 140°C (Tanguy, 2004). Trafo berumur pendek dapat juga diakibatkan karena adanya kegagalan isolasi yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti, suhu lingkungan sekitar (*ambient temperature*), suhu minyak bagian atas pada transformator, suhu *hotspot* transformator dan variasi pembebanan yang didapat oleh transformator tersebut (Sigid, 2008).

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1 Rancangan Penelitian**

Sebelum melaksanakan penelitian maka perlu dibuat rancangan penelitian. Agar setiap langkah dan tujuan dapat dilakukan dengan baik, maka penulis membuat rancangan penelitian dengan 5 tahap sebagai berikut :

#### **1) Jadwal dan lokasi penelitian**

Tahap pertama, penulis membuat agenda jadwal penelitian agar penelitian dapat dilakukan secara teratur dan dapat menghemat waktu, karena dalam melaksanakan penelitian penulis diberi waktu yang terbatas. Setelah itu, penulis menentukan lokasi penelitian, yaitu di gardu induk palur 150 kV.

#### **2) Studi literatur**

Tahap kedua, penulis melakukan studi literature yaitu mencari studi kasus tentang materi penelitian, permasalahan dan mempelajari materi tersebut dengan cara mencari di buku-buku atau melakukan wawancara dengan narasumber agar menjadi referensi dari penelitian yang dilaksanakan.

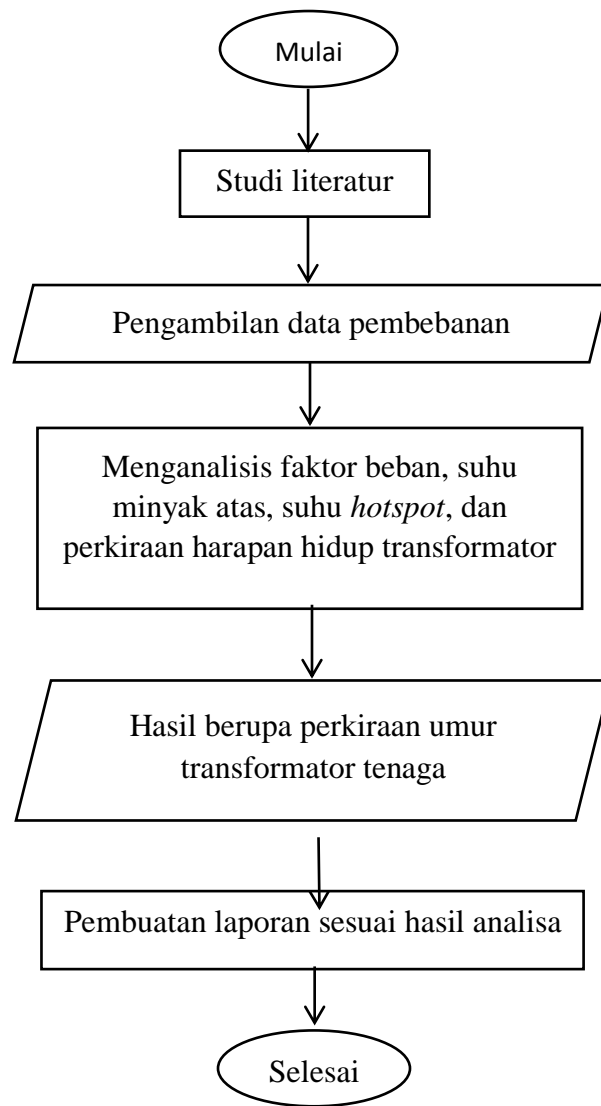
#### **3) Pengambilan Data**

Tahap ketiga, penulis melakukan pengambilan data dari hasil pengujian yang sudah dilakukan oleh PLN. Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai hasil pengujian. Setelah itu data tersebut disimpan untuk dianalisa.

#### **4) Analisa data**

Tahap keempat, penulis melakukan analisa terhadap data pengujian dan percobaan variasi pembebanan agar dapat membandingkan perkiraan umur transformator dalam berbagai variasi pembebanan dan memastikan harapan hidup transformator tersebut dengan metode literatur yang penulis pelajari.

## 2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Analisis Perhitungan



Faktor beban adalah perbandingan antara beban rata-rata dan beban puncak. Data beban, diambil di transformator nomor 3 gardu induk palur 150 kV pada tanggal 22 Maret 2018, dengan beban rata-rata sebesar 70%. Data tersebut memiliki dua waktu, yaitu pada siang hari jam 13.00 WIB dan malam hari jam 19.00 WIB. Supaya mendapatkan perbandingan pada data yang diuji, maka penulis melakukan percobaan dengan membuat variasi beban rata-rata menjadi 70%, 80%, 90%, dan 100%.

### Menentukan Faktor Beban (K)

$$F_b = \frac{P_r}{P_p} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan,  $F_b$  = Faktor beban

$P_r$  = Beban rata-rata

$P_p$  = Beban puncak

Contoh perhitungan untuk mencari faktor beban dengan pembebanan sebesar 70%.

$$F_b = \frac{P_r}{P_p} = \frac{70\%}{100\%} = 0,7$$

Dengan menggunakan persamaan (1), maka dapat ditemukan hasil sesuai tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan faktor beban

Pembebanan	Faktor Beban
70%	0,7
80%	0,8
90%	0,9
100%	1,0

Pembebanan akan dijadikan sebagai acuan dalam menentukan perkiraan umur transformator. Dengan mengambil nilai pada percobaan variasi pembebanan sebesar 70%, 80%, 90%, dan 100%.

### Menentukan rugi tembaga ( $P_{CU}$ )

$$P_{CU} = I^2 R \dots\dots\dots(2)$$

Dengan,  $P_{CU}$  = Rugi tembaga (W)

I = Arus (A)

R = Resistansi ( $\Omega$ )

Diketahui nilai resistansi transformator sebesar 0.09 %, maka dari itu perlu dicari nilai sesungguhnya dari resistansi dikarenakan masih dalam satuan persen.

$$Z_{\text{sesungguhnya}} = Z_{pu} \times Z_{\text{dasar}} \dots \dots \dots (3)$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(kV)^2}{MVA} \dots \dots \dots (4)$$

$$Z_{\text{dasar}} \text{ (belitan primer)} = \frac{(kV)^2}{MVA} = \frac{\left(\frac{150}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{60}{3}} = \frac{\frac{22.500}{3}}{20} = \frac{7.500 V}{20 A} = 375 \Omega$$

$$Z_{\text{dasar}} \text{ (belitan sekunder)} = \frac{(kV)^2}{MVA} = \frac{\left(\frac{20}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{60}{3}} = \frac{\frac{400}{3}}{20} = \frac{133,3 V}{20 A} = 6,67 \Omega$$

$$Z_{\text{sesungguhnya}} \text{ (belitan primer)} = Z_{pu} \times Z_{\text{dasar}} = 0,09 \% \cdot 375 = 3,375 \Omega$$

$$Z_{\text{sesungguhnya}} \text{ (belitan sekunder)} = Z_{pu} \times Z_{\text{dasar}} = 0,09 \% \cdot 6,67 = 0,06 \Omega$$

Diketahui bahwa nilai resistansi berdasarkan persamaan (4) pada belitan primer sebesar 3,375  $\Omega$  dan pada belitan sekunder sebesar 0,06  $\Omega$ .

Tabel 2. Data arus pada tanggal 22 Maret 2018

	Arus pada transformator nomor 3 pada waktu (A)	
	Siang	Malam
I belitan primer fasa R	182	200
I belitan primer fasa S	182	200
I belitan primer fasa T	182	200
I belitan sekunder fasa R	1276	1370
I belitan sekunder fasa S	1231	1322
I belitan sekunder fasa T	1291	1403

Data pada tabel 2 adalah data arus pada tanggal 22 Maret 2018 dalam dua waktu yang berbeda, yaitu pada siang hari pada jam 13.00 WIB dan malam hari pada jam 19.00 WIB. Pengambilan data tersebut berdasarkan arus yang masuk ke kumparan primer dan kumparan sekunder transformator nomor 3.

Contoh perhitungan rugi tembaga belitan primer fasa R pada waktu siang hari,

$$P_{CU} = I^2 R = 182^2 A \times 3,375 \Omega = 111.793,5 W$$

Contoh perhitungan rugi tembaga belitan sekunder fasa R pada waktu siang hari,

$$P_{CU} = I^2 R = 1276^2 A \times 0,06 \Omega = 97.690,56 W$$

Dengan menggunakan persamaan (3), maka dapat ditemukan hasil seperti tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan rugi tembaga pada seluruh arus di transformator nomor 3.

	Rugi tembaga pada waktu (W)	
	Siang	Malam
Rugi tembaga belitan primer fasa R	111.793,5	135.000
Rugi tembaga belitan primer fasa S	111.793,5	135.000
Rugi tembaga belitan primer fasa T	111.793,5	135.000
Rugi tembaga belitan sekunder fasa R	97.690,56	112.614
Rugi tembaga belitan sekunder fasa S	90.921	104.861
Rugi tembaga belitan sekunder fasa T	100.000,9	118.104,5
Jumlah	623.992,9 W = 623,99 kW	740.579,5 W = 740,58 kW

Data pada siang dan malam pada hari tersebut dijadikan sebagai perbandingan. Dengan diketahui jumlah rugi tembaga pada siang hari = 623,99 kW dan malam hari = 740,58 kW.

#### Menghitung perbandingan rugi transformator (d)

$$d = \frac{\text{Rugi tembaga pada daya pengenalan}}{\text{Rugi beban nol}} \dots\dots\dots(5)$$

Diketahui jumlah rugi tembaga pada siang = 623,99 kW dan malam = 740,58 kW, dengan rugi tanpa beban/beban nol sebesar 100 kW.

$$d = \frac{623,99 kW}{100 kW} = 6,24 \text{ (saat keadaan siang)}$$

$$d = \frac{740,58 \text{ kW}}{100 \text{ kW}} = 7,41 \text{ (saat keadaan malam)}$$

**Menghitung kenaikan *ultimate top oil* ( $\Delta\phi_{ou}$ )**

$$\Delta\phi_{ou} = \Delta\phi_{oi} \left[ \frac{1+dK^2}{1+d} \right] \dots\dots\dots(6)$$

Dengan,  $\Delta\phi_{ou}$  = kenaikan *ultimate top oil* (°C)

$d$  = perbandingan rugi transformator

Konstanta (K) = ONAF & ONAN = 0,9

OFAF & OFWF = 1,0

$\Delta\phi_{oi}$  = ON = 40°C

OF = 55°C

\*Mengikuti sub bab 41.7.1 pada publikasi IEC 76 (1994 Edition 1) mengikuti tabel tunggal yang diatur pada jenis pendingin.

$$\Delta\phi_{ou} = \Delta\phi_{oi} \left[ \frac{1+dK^2}{1+d} \right] = 40 \left[ \frac{1+6,24 \times (0,9)^2}{1+6,24} \right] = 40 \left[ \frac{6,054}{7,24} \right] = 33,45^\circ\text{C (siang)}$$

$$\Delta\phi_{ou} = \Delta\phi_{oi} \left[ \frac{1+dK^2}{1+d} \right] = 40 \left[ \frac{1+7,41 \times (0,9)^2}{1+7,41} \right] = 40 \left[ \frac{7,002}{8,41} \right] = 33,30^\circ\text{C (malam)}$$

**Menentukan kenaikan temperatur *top oil* ( $\Delta\phi_{on}$ )**

$$\Delta\phi_{on} = \Delta\phi_{0(n-1)} + (\Delta\phi_{ou} - \Delta\phi_{0(n-1)}) (1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}}) \dots\dots\dots(7)$$

Dengan,  $\Delta\phi_{on}$  = kenaikan temperature *top oil* (°C)

$\Delta\phi_{0(n-1)}$  = kenaikan awal temperatur awal minyak (°C)

$\Delta\phi_{ou}$  = kenaikan *ultimate top oil* (°C)

$\tau_0$  = konstanta waktu minyak dalam jam

$$\Delta\emptyset_{on} = \Delta\emptyset_{0(n-1)} + (\Delta\emptyset_{ou} - \Delta\emptyset_{0(n-1)}) (1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}})$$

$$= 33,45^{\circ}\text{C} + (33,45^{\circ}\text{C} - 33,45^{\circ}\text{C}) (1 - e^{-1/3}) = 33,45^{\circ}\text{C} \text{ (siang)}$$

$$\Delta\emptyset_{on} = \Delta\emptyset_{0(n-1)} + (\Delta\emptyset_{ou} - \Delta\emptyset_{0(n-1)}) (1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}})$$

$$= 33,30^{\circ}\text{C} + (33,30^{\circ}\text{C} - 33,30^{\circ}\text{C}) (1 - e^{-1/3}) = 33,30^{\circ}\text{C} \text{ (malam)}$$

### **Menentukan selisih temperatur *hotspot* ( $\Delta\emptyset_{cr}$ )**

Berdasarkan data yang diuji pada saat siang hari,

$$\text{Kenaikan temperatur rata-rata kumparan} = 59^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Kenaikan temperatur } top \text{ oil (menurut publikasi IEC 76) } (\Delta\emptyset_{br}) = 55^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Kenaikan temperatur rata-rata minyak} = 55^{\circ}\text{C}$$

Selisih antara kenaikan temperatur rata-rata kumparan dan

$$\text{kenaikan temperatur rata-rata minyak } (\Delta\emptyset_{wo}) = 4^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan data yang diuji pada saat malam hari,

$$\text{Kenaikan temperatur rata-rata kumparan} = 58^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Kenaikan temperatur } top \text{ oil (menurut publikasi IEC 76) } (\Delta\emptyset_{br}) = 55^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Kenaikan temperatur rata-rata minyak} = 55^{\circ}\text{C}$$

Selisih antara kenaikan temperatur rata-rata kumparan dan

$$\text{kenaikan temperatur rata-rata minyak } (\Delta\emptyset_{wo}) = 3^{\circ}\text{C}$$

(Kenaikan temperatur *hotspot* dengan siklus minyak alami)

$$\Delta\emptyset_{cr(alami)} = \Delta\emptyset_{br} + 1,1 \Delta\emptyset_{wo} \dots\dots\dots(8)$$

Dengan  $\Delta\emptyset_{cr(alami)}$  = Siklus minyak alami ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$\Delta\emptyset_{cr(alami)} = \Delta\emptyset_{br} + 1,1 \Delta\emptyset_{wo} = 55^{\circ}\text{C} + 1,1 \times 4^{\circ}\text{C} = 59,4^{\circ}\text{C} \text{ (siang)}$$

$$\Delta\emptyset_{cr(alami)} = \Delta\emptyset_{br} + 1,1 \Delta\emptyset_{wo} = 55^{\circ}\text{C} + 1,1 \times 3^{\circ}\text{C} = 58,3^{\circ}\text{C} \text{ (malam)}$$

(Kenaikan temperatur *hotspot* dengan siklus minyak paksaan dengan AF, berkurang suhunya menjadi = 40 °C)

$$\Delta\emptyset_{cr} = \Delta\emptyset_b + (\Delta\emptyset_{cr(alami)} - \Delta\emptyset_b) \dots\dots\dots(9)$$

Dengan  $\Delta\emptyset_{cr}$  = Kenaikan temperatur *hotspot* dengan siklus minyak paksaan (°C)

$$\Delta\emptyset_{cr} = \Delta\emptyset_b + (\Delta\emptyset_{cr(alami)} - \Delta\emptyset_b) = 40 + (59,4 - 40) = 59,4^\circ\text{C (siang)}$$

$$\Delta\emptyset_{cr} = \Delta\emptyset_b + (\Delta\emptyset_{cr(alami)} - \Delta\emptyset_b) = 40 + (58,3 - 40) = 58,3^\circ\text{C (malam)}$$

**Menentukan selisih temperatur antara *hotspot* dan *top oil* ( $\Delta\emptyset_{td}$ )**

$$\Delta\emptyset_{td} = (\Delta\emptyset_{cr} - \Delta\emptyset_b) K^{2y} \dots\dots\dots(10)$$

dengan,  $\Delta\emptyset_{td}$  = selisih antara kenaikan *hotspot* dan *top oil* (°C)

$\Delta\emptyset_{cr}$  = Kenaikan temperatur *hotspot* dengan siklus minyak paksaan (°C)

$\Delta\emptyset_b$  = Kenaikan temperatur *top oil* dengan standard IEC 76 (40°C)

Konstanta (y) = 0,8 (ONAN & ONAF)

= 0,9 (OFAF & OFWF)

K = faktor beban

Contoh perhitungan mencari selisih kenaikan *hotspot* dan *top oil* pada pembebanan 80%.

$$\Delta\emptyset_{td} = (\Delta\emptyset_{cr} - \Delta\emptyset_b) K^{2y} = (59,4 - 40) \times (0,8)^{2(0,8)} = (19,4) \times (0,69) = 13,38^\circ\text{C (siang)}$$

$$\Delta\emptyset_{td} = (\Delta\emptyset_{cr} - \Delta\emptyset_b) K^{2y} = (58,3 - 40) \times (0,8)^{2(0,8)} = (18,3) \times (0,69) = 12,62^\circ\text{C (malam)}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan selisih temperatur *hotspot* dan *top oil*

Waktu	Selisih temperatur <i>hotspot</i> dan <i>top oil</i> dengan pembebanan (°C)			
	70 %	80%	90%	100%
Siang	10,86	13,38	16,29	19,40
Malam	10,24	12,62	15,37	18,30

Hasil perhitungan selisih temperatur *hotspot* dengan *top oil* menggunakan persamaan (8), dapat diketahui pada tabel 4. Perhitungan menggunakan perbandingan pada waktu, yaitu siang

dan malam, dan pembebanan, yaitu 70%, 80%, 90%, dan 100%. Hasil dari tabel 4 akan dipakai untuk menghitung temperatur *hotspot*.

### Menentukan temperatur *hotspot* ( $\phi_{hm}$ )

Saat menentukan temperatur *hotspot*, suhu sekitar (*ambient*) sangat berpengaruh pada nilai temperatur *hotspot*. Penulis melakukan percobaan perbandingan suhu sekitar (*ambient*) dengan standard IEC = 20°C, standard IEEE = 30°C (Berdasarkan standard IEEE C57.91 (1995) suhu sekitar paling baik untuk transformator), dan suhu sekitar rata-rata sebenarnya di Indonesia ketika siang hari = 33°C, dan ketika malam hari = 24°C.

$$\phi_h = \phi_a + \Delta\phi_{on} + \Delta\phi_{td} \dots \dots \dots (11)$$

Dengan,  $\phi_h$  = temperatur *hotspot* (°C)

$\phi_a$  = temperatur suhu sekitar (°C)

$\Delta\phi_{on}$  = kenaikan temperatur *top oil* (°C)

$\Delta\phi_{td}$  = selisih antara kenaikan *hotspot* dan *top oil* (°C)

Contoh perhitungan untuk mencari temperatur *hotspot* dengan pembebanan 70%.

$$\phi_{hm} = \phi_a + \Delta\phi_{on} + \Delta\phi_{td} = 20^\circ\text{C} + 33,45^\circ\text{C} + 10,86^\circ\text{C} = 64,31^\circ\text{C} \text{ (siang)}$$

$$\phi_{hm} = \phi_a + \Delta\phi_{on} + \Delta\phi_{td} = 20^\circ\text{C} + 33,30^\circ\text{C} + 10,24^\circ\text{C} = 64,16^\circ\text{C} \text{ (malam)}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan nilai temperatur *hotspot*

no	Suhu sekitar (°C)	Temperatur <i>hotspot</i> dengan waktu dan perbandingan (°C)							
		Siang				Malam			
		70%	80%	90%	100%	70%	80%	90%	100%
1)	Standard IEC = 20°C	64,31	66,83	69,74	72,85	63,54	65,92	68,67	71,60
2)	Standard IEEE = 30°C	74,31	76,83	79,74	82,85	73,54	75,92	78,67	81,60

3)	Sebenarnya Siang = 33°C, malam = 24°C	77,31	79,83	82,74	85,85	67,54	69,92	72,67	75,60
----	---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Dengan suhu sekitar yang diambil sebagai perbandingan, maka dapat diketahui tentang perbandingan antar suhu yang signifikan. Hasil suhu sekitar sesuai standard, berbeda sekali dengan suhu sekitar yang diambil dari negara Indonesia. Suhu *hotspot* sesuai tabel 5 masih dikatakan bagus, karena menurut standard IEC 76 (1994) bahwa suhu *hotspot* paling tinggi adalah 140°C. Suhu paling bagus dapat diambil suhu sekitar maksimal 24°C – 30°C dengan pembebanan maksimal 70% – 80%.. Hasil dari tabel 5 akan digunakan untuk menghitung nilai  $F_{AA}$ .

### Menentukan $F_{AA}$

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{\emptyset H + 273}\right]} \dots\dots\dots (12)$$

Diketahui,  $\emptyset_h$  = temperatur *hotspot* (°C)

$F_{AA}$  = faktor laju penuaan isolasi (pU)

Contoh perhitungan untuk mencari nilai  $F_{AA}$  dengan pembebanan 70%.

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{\emptyset H + 273}\right]} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{64,31 + 273}\right]} = e^{[39,16 - 44,47]} = 0,005 \text{ pU (siang)}$$

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{\emptyset H + 273}\right]} = e^{\left[\frac{15.000}{383} - \frac{15.000}{63,54 + 273}\right]} = e^{[39,16 - 44,57]} = 0,0044 \text{ pU (malam)}$$

Tabel 6. Hasil perhitungan  $F_{AA}$  terhadap masing-masing pembebanan

no	Suhu sekitar (°C)	Nilai $F_{AA}$ dengan waktu dan pembebanan (pU)							
		Siang				Malam			
		70%	80%	90%	100%	70%	80%	90%	100%
1)	Standard IEC = 20°C	0,005	0,0068	0,01	0,014	0,0044	0,006	0,009	0,012
2)	Standard IEEE = 30°C	0,017	0,024	0,035	0,05	0,016	0,022	0,031	0,043
3)	Sebenarnya	0,025	0,035	0,049	0,071	0,007	0,0102	0,014	0,021



siang = 33°C, malam = 24°C								
-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Hasil dari perhitungan  $F_{AA}$  menunjukkan bila suhu sekitar yang diambil tinggi yaitu 30°C, dengan pembebanan yang tinggi yaitu 100%, maka angka perunit  $F_{AA}$  akan tinggi pula. Dapat diambil kesimpulan bila harga  $F_{AA}$  perunit semakin tinggi, maka semakin rendah perkiraan angka harapan hidup transformator tenaga. Hasil dari tabel 6 akan digunakan untuk menghitung perkiraan angka harapan hidup transformator.

### Menentukan perkiraan harapan hidup transformator

$$\text{Remaining Life} = \frac{65.000}{F_{AA}} \dots\dots\dots(13)$$

dengan,  $F_{AA}$  = faktor laju penuaan isolasi (pU)

Contoh perhitungan untuk mencari perkiraan umur transformator dengan pembebanan 70%.

$$\text{Remaining Life} = \frac{65.000}{F_{AA}} = \frac{65.000}{0,005} = 13.000.000 \text{ jam (siang)}$$

$$\text{Remaining Life} = \frac{65.000}{F_{AA}} = \frac{65.000}{0,0044} = 14.772.727 \text{ jam (malam)}$$

Tabel 7. Hasil perhitungan perkiraan harapan hidup transformator

Suhu sekitar (°C)	Perkiraan harapan hidup transformator dengan waktu dan permbebanan (jam)							
	Siang				Malam			
	70%	80%	90%	100%	70%	80%	90%	100%
Standard IEC = 20°C	13.000.000	9.558.823	6.500.000	4.642.857	14.772.727	10.833.333	7.222.222	5.416.666
Standard IEEE = 30°C	3.823.529	2.708.333	1.857.142	1.300.000	4.062.500	2.954.545	2.096.774	1.511.627

Sebenarnya								
Siang =								
33°C								
Malam =								
24°C	2.600.000	1.857.142	1.326.530	915.492	9.285.714	6.372.549	4.642.857	3.095.238

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (10), dapat diketahui pembebanan paling baik maksimal 70% dengan suhu sekitar 20°C. Namun, apabila pada kenyataannya transformator tetap tidak bisa bekerja pada pembebanan maksimal 70%, maka dapat dibuat beban maksimal sekitar 80%, agar transformator dapat berumur panjang. Suhu di Indonesia yang kadang ekstrim harus pula diseimbangi dengan pembebanan yang rendah supaya transformator berumur panjang.

#### 4. PENUTUP

Hasil penelitian pengaruh pembebanan terhadap umur transformator dengan pengambilan data dari gardu induk palur 150kV dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Terlihat bahwa suhu sekitar sangat mempengaruhi umur dari transformator, dengan perbedaan yang signifikan dari suhu 20°C (standard IEC), suhu 30°C (standard IEEE) dan suhu sebenarnya 33°C (pada waktu siang hari) dan 24°C (pada waktu malam hari).
- 2) Perkiraan umur transformator paling lama adalah sekitar 13.000.000 jam untuk siang hari dan 14.772.727 jam untuk malam hari. Dengan pembebanan 70% dan suhu sekitar 20°C.
- 3) Perbandingan perkiraan umur transformator antara standard IEC dan standard IEEE sekitar 70 – 80%.
- 4) Berdasarkan penelitian, perkiraan berkurangnya umur transformator untuk suhu sekitar di Indonesia mencapai 70 – 85% untuk siang hari dan 40 – 55% untuk malam hari, dibanding dengan suhu standard IEC 20°C.
- 5) Perbandingan suhu sesuai standard IEEE 30°C dengan suhu di Indonesia mengakibatkan perkiraan berkurangnya umur transformator sekitar 40 – 55% untuk siang hari dan bertambah 45 – 55 % untuk malam hari.
- 6) Pendeknya umur transformator terjadi pada saat suhu sekitar 33°C dengan pembebanan 100% yang diperkirakan hanya berumur sampai 915.492 jam.

- 7) Apabila transformator tetap berada dengan standard IEC yaitu dengan suhu 20°C dan dengan pembebanan maksimal 70% maka transformator akan mempunyai harapan hidup yang lama.

## **PERSANTUNAN**

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam penelitian tugas akhir sebagai berikut :

- 1) Terima Kasih kepada Allah SWT dengan pertolongan dan rahmatnya sehingga penulis bisa menyelesaikan mata kuliah tugas akhir.
- 2) Terima kasih kepada keluarga terutama bapak dan ibu yang selalu mendukung penulis dengan doa dan nasehatnya.
- 3) Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang sudah memberi banyak bimbingan ilmu teori maupun praktek.
- 4) Terima kasih kepada teman-teman kos, Rapma FM, Solo Radio FM, dan teman kuliah terutama teman-teman kelas C yang telah menemani penulis dan membantu.
- 5) Terima kasih kepada Erna Norol Hindriyatun, Ananta Erlangga, dan Andi Abror yang telah setia menemani dan memberikan motivasi kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
- 6) Teman-teman seperjuangan angkatan 2014 yang selalu berjuang untuk wisuda.
- 7) Terima kasih kepada Bapak Yusron selaku supervisor GI Palur 150kV yang sudah memberikan ilmu dan data pembebanan terkait penelitian ini.
- 8) Serta pihak lain mohon maaf sebesar-besarnya jika saya tidak bisa menyebutkan satu per satu semua yang telah memberikan dukungan, bantuan dan doa.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Harlow James H, 2011, *Electrical Power Transformer Engineering Volume 01*, CRC Press, LLC,US, Page 12-20.

IEC, 2000, *Power Transformers*, IEC Standard 60076-1, International Electrotechnical Commission, 2000-04 Edition : 2.1.

IEEE, 1995, *Loading Guide For Oil Immersed Transformer*, IEEE Standard C57.91, Institute of

Electrical and Electronic Engineering, New York.

I.A.R Gray, 2003, *Condition-Based Strategies of Transformer Age Assessment*, Transformer Chemistry Services Volume 01 Page 4.

Janny Olly Wuwung, 2010, *Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Belitan Transformator Daya Jenis Terendam Minyak*, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, Volume 07.

Purnama Sigid, 2008, *Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga*, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro Semarang.

Tanguy. A, 2004, *Thermal Performance Of Power Transformers : Thermal Calculation Tools Focused On New Operating Requirements*, Volume 21, rue d'Artois, Paris.